

Araştırma Makalesi

Deprem Sonrası Atık Yönetimi Politikalarının Ekonomik Boyutları: Sürdürülebilirlik Temelli Karar Verme Yaklaşımlarıyla Modelleme ve Uygulama Önerileri

Economic Dimensions of Post-Earthquake Waste Management Policies: Modeling and Implementation Suggestions with Sustainability-Based Decision-Making Approaches

Nuh OKUMUŞ

Dr., Gaziantep Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi

okumus27@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6111-8083>

Makale Geliş Tarihi	Makale Kabul Tarihi
15.07.2025	09.11.2025

Öz

Depremler gibi büyük ölçekli doğal afetler, etkili bir şekilde yönetilmediğinde, uzun vadeli çevresel, ekonomik ve halk sağlığı açısından ciddi tehditler oluşturan büyük miktarda atığın ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Deprem sonrası moloz yönetimi üzerine çeşitli çalışmalar yapılmış olsa da, özellikle sürdürülebilirlik, sıfır atık ve döngüsel ekonomi perspektiflerinden afet sonrası iyileşme süreçlerine etkisi konusunda literatürde önemli bir boşluk bulunmaktadır. Bu çalışma, 2008 Sichuan ve 2023 Türkiye-Suriye depremlerini karşılaştırmalı olarak inceleyerek, afet atık yönetiminde sürdürülebilir uygulamaların rolünü değerlendirmeyi; geri dönüşüm odaklı stratejiler, dayanıklı yapılaşma politikaları ve ulusal atık yönetimi standartları yoluyla toplumsal ve ekolojik etkilerin azaltılmasına katkı sağlayacak en uygun yönetim modelinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Ancak bu bağlamda karar verme süreci, çoklu kriterler ve alternatifler nedeniyle oldukça karmaşık hale gelmektedir. Bu nedenle, depreme eğilimli bölgelerde sürdürülebilir afet yönetimi politikalarının ve döngüsel ekonomi temelli moloz yönetimi uygulamalarının geliştirilmesi; çevre sorunlarına entegre, karşılaştırmalı ve çok kriterli analizlere dayalı yeni karar alma yaklaşımlarının benimsenmesini gerektirmektedir. Bu şekilde, afetler sonucu oluşan büyük miktardaki atığın daha etkin şekilde yönetilmesi mümkün olacak, çevresel tahribat en aza indirilecek ve sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir iyileşme süreci desteklenecektir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Ekonomi, Sürdürülebilir Kalkınma, Etkili Q-bulanık esnek küme.

Abstract

Large-scale natural disasters, such as earthquakes, generate large amounts of waste that, if not managed effectively, pose serious long-term environmental, economic and public health threats. Although there have been several studies on post-earthquake debris management, there is a significant gap in the literature on its impact on post-disaster recovery processes, especially from sustainability, zero waste and circular economy perspectives. By comparatively analyzing the 2008 Sichuan and 2023 Turkey-Syria earthquakes, this study aims to assess the role of sustainable practices in disaster waste management and identify the most appropriate management model that will contribute to reducing social and ecological impacts through recycling-oriented strategies, resilient construction policies and national waste management standards. However, the decision-making process in this context is complicated by multiple criteria and alternatives. Therefore, the development of sustainable disaster management policies and circular economy-based debris management practices in earthquake-prone regions requires the adoption of new decision-making approaches based on integrated, comparative and multi-criteria analysis of environmental problems. In this way, it will be possible to manage the large amount of waste generated

Önerilen Atıf /Suggested Citation

Okumuş, N., 2025, Deprem Sonrası Atık Yönetimi Politikalarının Ekonomik Boyutları: Sürdürülebilirlik Temelli Karar Verme Yaklaşımlarıyla Modelleme ve Uygulama Önerileri, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 60(4), 4042-4052.

by disasters more effectively, minimize environmental damage and ensure a recovery process in line with sustainable development goals.

Keywords: *Environmental Economy, Sustainable Development, Effective Q-fuzzy soft set.*

1. Giriş

Depremler, sadece can ve mal kaybına yol açmakla kalmayıp aynı zamanda büyük miktarlarda inşaat ve yıkım atığının ortaya çıkmasına neden olan yıkıcı doğal afetlerdir. Bu tür afetler sonrası oluşan atıkların yönetimi, kısa vadede acil müdahale kapasitesini etkilerken, uzun vadede çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik yükler ve halk sağlığı açısından kritik öneme sahiptir (Bektaş ve Jingjie, 2025). Deprem sonrası molozların etkin bir şekilde toplanması, ayrıştırılması, yeniden kullanılması ya da geri dönüştürülmesi; sadece atık hacminin azaltılması değil, aynı zamanda kaynakların verimli kullanımı ve karbon emisyonlarının düşürülmesi açısından da değerlidir. Türkiye, hem jeopolitik konumu hem de sosyo-ekonomik büyüme potansiyeli sayesinde, birçok gelişmekte olan ülke için bir model teşkil etmektedir. Özellikle atık yönetimi konusunda yürütülen “Sıfır Atık Projesi” gibi ulusal çaplı girişimler, sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde önemli gelişmeleri beraberinde getirmiştir (Bilgili ve ark., 2023). Bununla birlikte, Türkiye gibi hızlı kentleşen ve nüfusu artan ülkelerde, atık yönetimi hala önemli bir zorluk alanı olmaya devam etmektedir. Plansız kentleşme, yetersiz altyapı ve sınırlı mali kaynaklar; afet atığı yönetimini daha karmaşık ve maliyetli hale getirmektedir (Demir ve ark., 2020). 2008 Sichuan Depremi ve 2023 Türkiye-Suriye depremi, hem büyüklükleri hem de yarattıkları yıkım bakımından karşılaştırılabilir nitelikte iki afet olarak öne çıkmaktadır. Bektaş ve Jingjie (2025) tarafından yapılan karşılaştırmalı analiz, her iki depremde ortaya çıkan atık miktarlarını, karbon emisyonlarını ve ekonomik etkilerini ortaya koymuş; sürdürülebilir uygulamaların özellikle geri dönüşüm odaklı stratejiler ve dayanıklı yapılaşma politikaları çerçevesinde ne denli etkili olabileceğini göstermiştir. Sichuan örneğinde 24,58 milyar Avro eko-maliyet ve 152,5 milyon ton CO₂ eşdeğeri atık oluşurken, Türkiye-Suriye depreminde bu rakamlar sırasıyla 9,08 milyar Avro ve 60,3 milyon ton olarak kaydedilmiştir. Bu veriler, afet yönetim stratejilerinin etkinliğinin yalnızca kurtarma sürecine değil, aynı zamanda uzun vadeli çevresel etkilerin azaltılmasına da doğrudan yansımaları göstermektedir.

Bu çalışma, afet sonrası atık yönetiminde sürdürülebilirlik temelli karar verme süreçlerinin önemine dikkat çekmeyi ve Çin ile Türkiye örneklerinden yola çıkarak en uygun uygulama modellerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Özellikle Etkili Q-Bulanık Esnek Küme (EQBEK) yöntemi ile alternatif yönetim senaryoları karşılaştırılarak, afet atıklarının yönetiminde geri dönüşüm, yeniden kullanım, çevresel maliyetler ve toplumsal etkiler dikkate alınarak kapsamlı bir değerlendirme yapılacaktır. Böylece, hem gelişmekte olan ülkelerde uygulanabilir hem de çevresel açıdan sürdürülebilir bir afet atık yönetimi çerçevesi sunulması hedeflenmektedir.

Birçok gerçek dünya problemi belirsizlik ile karakterize edilir ve bu da ekonomi, mühendislik ve çevre gibi alanlardaki geleneksel karar alma yöntemlerini karmaşıklarlaştırır. Bu zorlukları ele almak için Zadeh, Bulanık Küme Teorisini matematiksel bir araç olarak ortaya koydu (Zadeh, 1965). Daha sonra bu fikri, üyelik uzayının 0 ile 1 arasındaki tüm kapalı alt aralıklardan oluştuğu aralık değerli bulanık kümeleri de içerecek şekilde genişletti (Zadeh, 1975). Bu kavramları daha da ileri götüren Molodtsov, belirsiz problemleri ele almak için yeni bir çerçeve olarak Esnek Küme Teorisini ortaya koydu (Molodtsov, 1999). Maji ve arkadaşları (Maji, Biswas, Roy, 2001) daha sonra Esnek Küme Teorisini Bulanık Esnek Küme Teorisine geliştirerek karar alma senaryolarına uygulanabilirliğini artırdı. Maji ve arkadaşları (Maji, Roy, Biswas, 2003) bu bağlamda birleşim, kesişim, VE ve VEYA gibi temel işlemleri titizlikle tanımladılar. Ek olarak, Roy ve Maji (Roy, Maji, 2007) karar almada bulanık esnek kümelerin uygulamasını araştırdı. Yang ve diğerleri (Yang, Lin, Yang, Li, Yu, 2009) aralık değerli bulanık kümeleri esnek kümelerle bütünleştirerek yenilikçi bir yaklaşım benimsedi. Son olarak, Alkhazaleh ve Salleh (Alkhazaleh, Salleh, 2011) uzman görüşlerini tutarlı bir modelde toplayan, özelliklerini ayrıntılandıran ve birleşim, kesişim, VE ve VEYA gibi temel işlemleri tanımlayan Esnek Uzman Küme Teorisini sundu.

Alkhazaleh ve Salleh (2014) tarafından geliştirilen bulanık esnek uzman kümesi kavramı, daha sonra çeşitli araştırmacılar tarafından farklı şekillerde genişletilmiştir (Uluçay ve ark., 2016). Bu yapı sırasıyla; geliştirilmiş bulanık esnek uzman kümesine (Hazaymeh ve ark., 2012), belirsiz esnek uzman kümesine (Hassan ve Alkhazaymeh, 2013), geliştirilmiş belirsiz esnek uzman kümesine

(Hassan ve Alhazaymeh, 2013; 2014a; 2014b) ve çoklu Q-bulanık esnek uzman kümesine (Adam ve Hassan, 2016) dönüştürülmüştür. Ayrıca Adam ve Hassan (2014, 2014a, 2014b) Q-bulanık esnek kümeler kavramını, devamında ise çoklu-Q bulanık esnek kümeleri (Adam ve Hassan, 2014c; 2015) literatüre kazandırmıştır. Bu alandaki çalışmalar zamanla daha da çeşitlenmiş; etkin bulanık esnek küme (Alkhazaleh, 2022), zaman etkin bulanık esnek küme (Hazaymeh, 2024), etkin Q-bulanık esnek uzman kümeleri ve etkin Q-nötrosofik esnek uzman kümeleri (Başer ve Uluçay, 2024), sezgisel bulanık esnek uzman grafikleri (Uluçay ve Şahin, 2024), sezgisel yamuk bulanık çoklu sayılara dayalı yeni bir genelleştirilmiş benzerlik ölçütü (Uluçay ve Okumuş, 2024) ve yamuk bulanık çoklu sayılarla tanımlı çeşitli harmonik toplama operatörleri (Uluçay ve Şahin, 2023) geliştirilmiştir. Daha sonra bu alanda çalışmalar hızlı bir şekilde devam etmiştir (Sahin ve ark. 2019, Uluçay 2020).

Bu çalışmalardan ilhamla, bu çalışmada söz konusu yapılar Etkili Q-Bulanık Esnek Küme (EQBEK) (Okumuş, 2025) kavramı temelinde genişletilmiştir. Bu kapsamda, EQBEK'in temel tanımı, özellikleri ve karar verme süreçlerindeki uygulama potansiyeli ele alınarak, özellikle çok kriterli karar verme alanında sunduğu katkılar vurgulanmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, 2008 Sichuan ve 2023 Türkiye-Suriye depremlerini karşılaştırmalı olarak inceleyerek, afet atık yönetiminde sürdürülebilir uygulamaların rolünü değerlendirmektir. Bu kapsamda; geri dönüşüm odaklı stratejiler, dayanıklı yapılaşma politikaları ve ulusal afet atık yönetimi standartları aracılığıyla, toplumsal ve ekolojik etkilerin azaltılmasına katkı sağlayacak en uygun yönetim modelinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda, alternatif karar verme süreçleri de ele alınarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın devamında, Bölüm 2'de konuyla ilgili ön bilgiler sunulmakta; Bölüm 3'te ise EQBEK yöntemi ve bu yönteme ait algoritma ayrıntılı biçimde tanıtılmaktadır. Bölüm 4'te, sayısal bir örnek aracılığıyla yöntemin nasıl uygulandığı ve karar sürecini nasıl yönlendirdiği gösterilmektedir. Son olarak, Bölüm 5'te elde edilen bulgulara ilişkin genel bir değerlendirme yapılmakta ve önerilere yer verilmektedir.

2. Temel Bilgiler

Bu bölümde, konunun anlaşılmasını kolaylaştıracak tanımlar, kavramlar ve genel bilgiler sunulmaktadır.

Tanım 1 (Zadeh, 1965) Boş olmayan bir V kümesi üzerinde bulanık kümeler, $v \in V$ için $\mu: V \rightarrow [0, 1]$ fonksiyonlarının olduğu $A = \{ \langle v, \mu_A(v) \rangle, v \in V \}$ kümesine denir.

Tanım 2 (Molodtsov, 1999) V bir evrensel küme ve E bir parametre kümesi olsun. $A \subseteq E$ 'yi ele alalım. $P(V)$ nin V nin tüm bulanık kümelerinin kümesini ve F nin $F: A \rightarrow P(V)$ ile verilen bir fonksiyon olduğu varsayalım. (F, A) koleksiyonu V üzerindeki bulanık esnek küme olarak adlandırılır.

Tanım 3 (Adam & Hassan, 2016) I birim aralık ve k pozitif bir tam sayı olsun. V 'deki çoklu Q -bulanık küme $\tilde{A}_Q$ ve boş olmayan bir küme Q , $\tilde{A}_Q = \{ \langle v, q \rangle, \mu_i(v, q) : v \in V, q \in Q \}$ olan $\mu_i: V \times Q \rightarrow I^k$, $i = 1, 2, \dots, k$ sıralı dizilerin bir kümesidir.

Tanım 4 (Alkhazaleh, 2022) Etkin parametrelerin kümesi C ve A evrensel küme üzerindeki fonksiyonel etkin küme $\Lambda = \{ \langle u, x \rangle, \delta_\Lambda(a) : a \in C \}$, $\Lambda: U \times X \rightarrow I^A$ şeklinde tanımlanan bulanık bir kümedir.

Tanım 5 (Alkhazaleh & Beshtawi, 2023) $(F, S)_\Lambda$ çifti, U üzerinde etkin bulanık esnek uzman kümesi olarak adlandırılır, ancak $F(U)$, U nun tüm bulanık alt kümelerinin kümesini belirtir ve etkin parametreler kümesi, Λ nin C üzerinde etkin küme olacağı şekilde C ile gösterilir. O zaman $F: Z \rightarrow F(U)$ ile verilen ve aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$F(s)_\Lambda = \left\{ \frac{u_j}{T_{U(u_j)_\Lambda}} : u_j \in U, s \in S \right\}$$

Her $s \in S$ ve her $a_k \in C$ için şunu elde ederiz:

$$T_{U(u_j)_\Lambda} = \begin{cases} T_U(u_j) + \frac{(1 - T_U(u_j)) \sum_k \delta_{\Lambda_{x_j}}(a_k)}{|A|}, & T_U(u_j) \in (0,1) \text{ ise} \\ T_U(u_j), & \text{aksi takdirde.} \end{cases}$$

3. Önerilen Yeni Metot

Bu bölümde etkili Q-bulanık esnek kümeler EQBEK (Okumuş, 2025) nin tanımını ve bazı özelliklerini önereceğiz. Makale boyunca, V evrensel küme, $A \subseteq E$ parametreler kümesi, Q da bir arz kümesi, Λ etkili parametreler kümesidir.

Tanım 6 (Okumuş, 2025) EQBEK (V), V üzerinde EQBEK kümelerin kümesi olacak şekilde $F_Q: A \rightarrow EQBEK(V)$ dönüşümü V üzerinde EQBEK dir ve (F_Q, A) ile gösterilir.

$$F_{Q\Lambda}(v_j, k_r) = \left\{ \frac{(v_j, k_r)}{< T_{V(v_j, k_r)\Lambda} >} \right\} : v_j \in V, k_r \in Q$$

Her $a_k \in C$,

$$T_{V(v_j, k_r)\Lambda} = \begin{cases} T_V(v_j, k_r) + \frac{(1 - T_V((v_j, k_r))) \sum_k \delta_{\Lambda x_j}(a_k)}{|\Lambda|}, & T_U(v_j, k_r) \in (0,1) \text{ ise} \\ T_U(v_j, k_r), & \text{aksi takdirde} \end{cases}$$

elde edilir. $\forall (a_k) \in \Lambda$, ve Λ nin elemanlarının sayısı $|\Lambda|$ ile gösterilir.

Tanım 7 Bir EQBEK $(F_Q, Z)_\Lambda$ nin tümleyeni $F_Q^{(c)}: \neg A \rightarrow EQFSS(V)$ olacak şekilde

$$(F_Q, Z)_\Lambda^c = (F_Q^{(c)}, \neg A)_\Lambda$$

dir. Burada her $\alpha \in E$ için

$$F_Q^{(c)}(\alpha)_\Lambda = \{ \bar{1} - \mu_{F_Q(\alpha)_\Lambda} \}$$

ve $((F_Q, A)_\Lambda)^c = (F_Q, A)_\Lambda$ ile gösterilir.

4. Yöntem Uygulaması

Şimdi bu kavramın belirsiz bilgi içeren karar verme problemlerine başarıyla uygulanabileceğini göstermek için EQBEK yönteminin bir uygulamasını sunacağız. Aşağıdaki algoritma, aşağıdaki etkili Q-bulanık esnek tabanlı karar verme problemini çözmek için önerilmektedir.

Depremler, yalnızca can ve mal kayıplarına neden olan felaketler değil, aynı zamanda büyük çapta inşaat ve enkaz atığı üreten doğal olaylardır. Bu atıkların afet sonrası sürede etkin şekilde yönetilmesi, hem acil müdahale süreçlerini doğrudan etkiler hem de uzun vadede çevresel denge, ekonomik maliyetlerin düşürülmesi ve toplum sağlığının korunması açısından hayati önem taşır. Özellikle hızlı kentleşme ve nüfus artışı ile birlikte afet atıklarının etkili ve sürdürülebilir bir biçimde yönetilmesi, gelişmekte olan ülkeler için giderek daha karmaşık bir sorun haline gelmektedir. Türkiye, hem jeopolitik konumu hem de sosyo-ekonomik büyüme potansiyeli sayesinde birçok gelişmekte olan ülke için örnek teşkil etmektedir. Bu bağlamda, afet atık yönetiminde sürdürülebilir ve uygulanabilir stratejilerin geliştirilmesi, yalnızca ulusal değil, aynı zamanda bölgesel ölçekte de önem arz etmektedir. Geri dönüşüm odaklı yaklaşımlar, dayanıklı yapılaşma politikaları ve ulusal düzeyde belirlenmiş afet atık yönetimi standartları yoluyla hem toplumsal hem de ekolojik etkilerin en aza indirilmesi hedeflenmektedir. Bu çalışma, afet sonrası atık yönetiminde sürdürülebilirliğe dayalı karar verme süreçlerinin önemini vurgulamakta ve Çin ile Türkiye örneklerinden hareketle en etkili yönetim modellerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda, EQBEK yöntemi kullanılarak farklı yönetim senaryoları karşılaştırılmakta; geri dönüşüm, yeniden kullanım, çevresel maliyetler ve toplumsal etkiler gibi çok boyutlu kriterler ışığında kapsamlı bir analiz sunulmaktadır. Böylece, özellikle gelişmekte olan ülkelere uygulanabilir, çevresel açıdan sürdürülebilir ve karar destek süreçlerine entegre edilebilecek bir afet atık yönetimi çerçevesi ortaya koyulması hedeflenmektedir. Bu yaklaşım, afet kaynaklı sıfır atık politikaları için seçilen yöntemin hem uyarlanabilir hem de ileriye dönük olmasını sağlayarak daha sürdürülebilir bir yol sunmaya odaklanmaktadır. Bu nedenle, önerilen yöntem sayesinde yapılan öneriler arasından Türkiye için en uygun olanı bulmak istiyoruz. X değerlendirme şirketi önerilen bu yöntemi üç farklı ülkede test etmek

istiyor. $\mathcal{U} = \{u_1, u_2, u_3\}$, alternatifler kümesi, $Q = \{k_1, k_2\}$ tedarik kümesi, parametreler kümesi $\epsilon = \{e_1 = \text{ulaşım}, e_2 = \text{konum}\}$ olacak şekilde parametreler e_i ($i = 1, 2$) ve etki parametreler kümesi $\Lambda = \{l_1 = \text{"çevre"}, l_2 = \text{"ekonomi"}\}$ ile gösterilsin. O halde;

$$\begin{aligned}\Lambda^1(u_1, k_1) &= \left\{ \frac{l_1}{(0.6)}, \frac{l_2}{(0.3)} \right\}, & \Lambda^2(u_1, k_2) &= \left\{ \frac{l_1}{(0.4)}, \frac{l_2}{(0.9)} \right\} \\ \Lambda^5(u_2, k_1) &= \left\{ \frac{l_1}{(0.4)}, \frac{l_2}{(0.8)} \right\}, & \Lambda^7(u_2, k_2) &= \left\{ \frac{l_1}{(0.2)}, \frac{l_2}{(0.5)} \right\} \\ \Lambda^{10}(u_3, k_1) &= \left\{ \frac{l_1}{(0.7)}, \frac{l_2}{(0.8)} \right\}, & \Lambda^{12}(u_3, k_2) &= \left\{ \frac{l_1}{(0.6)}, \frac{l_2}{(0.8)} \right\} \\ (N_Q, Z) &= \left\{ \left[(e_1), \left(\frac{(u_1, k_1)}{0.3}, \frac{(u_1, k_2)}{0.7}, \frac{(u_2, k_1)}{0.5}, \frac{(u_2, k_2)}{0.5}, \frac{(u_3, k_1)}{0.5}, \frac{(u_3, k_2)}{0.6} \right) \right], \right. \\ &\quad \left. \left[(e_2), \left(\frac{(u_1, k_1)}{0.6}, \frac{(u_1, k_2)}{0.9}, \frac{(u_2, k_1)}{0.7}, \frac{(u_2, k_2)}{0.3}, \frac{(u_3, k_1)}{0.7}, \frac{(u_3, k_2)}{0.3} \right) \right] \right\},\end{aligned}$$

Tablo 1 EQBEK yi göstermektedir.

Aşağıdaki algoritma, Sunulan önerler arasında en uygun öneriyi seçmek için kullanılabilir.

1. $QBEK(N_Q, Z)$ oluşturun
2. $EQBEK(N_Q, Z)_\Lambda$ hesaplayın,
3. $EQBEK s_j(u, k) = \frac{|\theta|}{s(\theta)}$ hesaplayın,
4. $\max s_j$ bulun ve çıkan sonucu büyükten küçüğe sıralayın.

Tablo 1: Etkili Q-bulanık esnek küme değerleri

$\mathcal{U} \times Q$	(u_1, k_1)	(u_1, k_2)	(u_2, k_1)	(u_2, k_2)	(u_3, k_1)	(u_3, k_2)
$N(e_1)_\Lambda$	0.6	0.9	0.8	0.7	0.9	0.2
$N(e_2)_\Lambda$	0.8	1.0	0.9	0.5	0.9	0.7
$s_j(u, k)$ $= \frac{ \theta }{S(\theta)}$	0.7	0.95	0.85	0.6	0.9	0.45

Görüldüğü üzere, değerlendirme sonucunda elde edilen maksimum skor $\max s_j = 0.95$ olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre, alternatifler arasında en yüksek puanı alan seçenek (u_1) en uygun alternatif olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde, bu alternatifi sağlayan tedarikçi k_2 , tüm kriterler açısından en iyi performansı gösteren tedarikçi konumundadır. Bu nedenle, karar verme sürecinde (u_1) alternatifi ve k_2 tedarikçisi öncelikli tercih olarak öne çıkmaktadır.

5. Sonuçlar ve Tartışmalar

Bu çalışma, 2008 Sichuan ve 2023 Türkiye-Suriye depremlerini karşılaştırmalı olarak ele alarak, afet sonrası oluşan inşaat ve yıkım atıklarının yönetiminde sürdürülebilir uygulamaların ne denli belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Depremlerin ardından ortaya çıkan büyük hacimli atıkların çevresel, ekonomik ve toplumsal etkileri dikkate alındığında, bu atıkların geri dönüşüm, yeniden kullanım ve ekosistem odaklı stratejilerle yönetilmesi; yalnızca acil müdahale süreçlerini kolaylaştırmakla kalmamakta, aynı zamanda uzun vadeli sürdürülebilir kalkınma hedeflerine de katkı sunmaktadır. Çalışmada elde edilen bulgular, afet yönetiminde yapısal dayanıklılığın artırılması, atık ayrıştırma altyapısının güçlendirilmesi ve ulusal düzeyde belirlenmiş stratejik standartların oluşturulması gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu noktada, Türkiye'nin "Sıfır Atık Projesi" gibi sürdürülebilirlik temelli uygulamaları, afet sonrası süreçlerde atık yönetiminin kurumsallaşmasına katkı

sağlayan önemli adımlar olarak öne çıkmaktadır. Ancak, hızlı kentleşme, sınırlı altyapı kapasitesi ve finansman eksikliği gibi yapısal zorluklar, bu sistemlerin uygulamada etkinliğini sınırlamaktadır.

Bu kapsamda, çalışma kapsamında geliştirilen ve uygulanan EQBEK yöntemi, çok kriterli karar verme süreçlerinde alternatif afet atık yönetim senaryolarını değerlendirmeye olanak tanıyan güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır. EQBEK yaklaşımı; belirsizlik, uzman görüşleri, çevresel maliyetler ve toplumsal etkiler gibi çok boyutlu karar parametrelerini bütüncül bir yapıda birleştirerek, karar alıcıların daha esnek ve bilgi temelli çözümler üretmesine olanak sağlamaktadır. Sayısal örnek aracılığıyla yapılan uygulamada da görüldüğü üzere, EQBEK yöntemi farklı senaryolar arasında anlamlı bir karşılaştırma yapma imkânı sunmakta; böylece, en uygun afet atık yönetim modelinin belirlenmesine doğrudan katkı sağlamaktadır.

Teorik düzeyde bu çalışma, afet atık yönetimi ve karar destek sistemleri literatürüne yenilikçi bir katkı sunmaktadır. EQBEK yöntemi, özellikle belirsizlik içeren durumlarda geleneksel yaklaşımların ötesine geçerek daha duyarlı, esnek ve bağlama özgü çözüm yolları üretmektedir. Uygulama açısından ise geliştirilen model; afetlere hazırlıklı olma, kurtarma süreçlerinin hızlandırılması ve atıkların çevresel etkilerinin azaltılması konularında politika yapıcılar, yerel yönetimler ve afet yönetim otoriteleri için somut ve uygulanabilir öneriler sunmaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, EQBEK yönteminin farklı afet türleri (örneğin; sel, yangın, heyelan) ve farklı bölgesel bağlamlarda uygulanabilirliği araştırılabilir. Ayrıca, yöntemin daha geniş veri setleriyle test edilmesi, dinamik karar destek sistemleriyle entegrasyonu ve gerçek zamanlı karar alma süreçlerine uyarlanabilirliğinin artırılması da önerilmektedir. Afet risklerinin çeşitlendiği ve yoğunlaştığı günümüz dünyasında, bu tür bütüncül ve esnek karar destek yaklaşımları, çevresel ve toplumsal açıdan sürdürülebilir afet yönetimi çerçevelerinin inşasında kritik rol oynamaktadır.

Kaynakça

- Adam, F. and Hassan, N. (2016). Multi Q-fuzzy soft expert set and its applications. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*,30(2): 943–950.
- Adam, F. and Hassan, N. (2014). Q-fuzzy soft set. *Applied Mathematical Sciences*,8(174): 8689-8695.
- Adam F, Hassan N. (2014a). Operations on Q-fuzzy soft set. *Applied Mathematical Sciences*,8(175): 8697–8701.
- Adam, F. and Hassan, N. (2014b). Q-fuzzy soft matrix and its application. *AIP Conference Proceedings*, 1602: 772–778, doi: 10.1063/1.4882573.
- Adam, F. and Hassan, N. (2014c). Multi Q-fuzzy parameterized soft set and its application. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 27(1): 419–424.
- Adam, F. and Hassan, N. (2015). Multi Q-fuzzy soft set and its application. *Far East Journal of Mathematical Sciences*, 97(7): 871–881.
- Alkhazaleh, S. and Salleh, A.R. (2011). Soft expert sets. *Advances in Decision Sciences*. 2011. article no. 757868
- Alkhazaleh, S., & Salleh, A. R. (2014). Fuzzy soft expert set and its application. *Applied Mathematics*, 5(09), 1349-1368.
- Alhazaymeh, K. and Hassan, N. (2014). Generalized vague soft expert set. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 93(3): 351 – 360.
- Alhazaymeh, K. and Hassan, N. (2014a). Mapping on generalized vague soft expert set. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 93(3): 369–376.
- Alkhazaleh, S. (2022). Effective fuzzy soft set theory and its applications. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2022(1), 6469745.
- Alkhazaleh, S., & Beshtawi, E. (2023). Effective fuzzy soft expert set theory and its applications. *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, 23(2), 192-204.
- Amato, A., Gabrielli, F., Spinozzi, F., Magi Galluzzi, L., Balducci, S., & Beolchini, F. (2019).

- Strategies of disaster waste management after an earthquake: A sustainability assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 146, 590–597. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.033>
- Başer, Z., & Uluçay, V. (2024). Effective Q–Fuzzy Soft Expert Sets and Its Some Properties. *Uncertainty Discourse and Applications*.
- Başer, Z., & Uluçay, V. (2024) Effective Q-Neutrosophic Soft Expert Sets and Its Application in Decision Making. *Algebraic Structures In the Universe of Neutrosophic: Analysis with Innovative Algorithmic Approaches*, 147.
- Bektaş, N., & Jingjie, Z. (2025). Sustainable waste management strategies for earthquake debris: Lessons from the 2008 China and 2023 Türkiye-Syria disasters. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 116, 105153.
- Bilgili, M. S., Akkaya, E., Engin, G., & Demir, A. (2023). On the Way to Circular Economy: Türkiye's Waste Management and Zero Waste Project. In *Circular Economy Adoption: Catalysing Decarbonisation Through Policy Instruments* (pp. 161-195). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Daştan, M., & Eygü, H. (2024). An empirical investigation of the link between economic growth, unemployment, and ecological footprint in Turkey: Bridging the EKC and EPC hypotheses. *Environment, Development and Sustainability*, 26(7), 18957-18988.
- Demir, A., Basturk, A., Ozkaya, B., & Bilgili, M. S. (2020). Municipal waste management in Turkey. In *Sustainable Waste Management Challenges in Developing Countries* (pp. 441-465). IGI Global Scientific Publishing.
- Demir, A., & Dinçer, A. E. (2023). Efficient disaster waste management: Identifying suitable temporary sites using an emission-aware approach after the Kahramanmaraş earthquakes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(12), 13143–13158. <https://doi.org/10.1007/s13762-023-05123-0>
- Demir, S., & Guzel, A. (2024). Revisiting policy and practices of sustainable development in Turkey. *Environment, Development and Sustainability*, 1-23.
- Degirmencioglu Aydin, N., & Aydin, M. (2024). An environmental impact assessment of major economic sectors in Turkey: Economics and law perspective. *Journal of the Knowledge Economy*, 15(2), 5893-5913.
- Erat S, Telli A (2020) Within the global circular economy: a special case of Türkiye towards energy transition. *MRS Energy Sustain* 7:1–10. <https://doi.org/10.1557/mre.2020.26>
- Habib, M. S., Sarkar, B., Tayyab, M., Saleem, M. W., Hussain, A., Ullah, M., Omair, M., & Iqbal, M. W. (2019). Large-scale disaster waste management under uncertain environment. *Journal of Cleaner Production*, 212, 200–222. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.154>
- Hazaymeh, A.A, Abdullah I.B., Balkhi and Ibrahim, R.I. (2012). Generalized fuzzy soft expert set. *Journal of Applied Mathematics*, Article ID 328195 doi: [10.1155/2012/328195](https://doi.org/10.1155/2012/328195).
- Hassan, N. and Alhazaymeh, K. (2013). Vague soft expert set theory. *AIP Conference Proceedings*, 1522: 953–958, doi: 10.1063/1.4801233.
- Hassan, N. and Alhazaymeh, K. (2013a). Generalized vague soft expert set theory, *AIP Conference Proceedings*, 1571: 970–974, doi: 10.1063/1.4858779.
- Hazaymeh, A. (2024). Time Effective Fuzzy Soft Set and Its Some Applications with and Without a Neutrosophic. *International Journal of Neutrosophic Science*, (2), 129-29.
- Kılıç, S. (2013). Sürdürülebilir kalkınma anlayışının ekonomik boyutuna ekolojik bir yaklaşım. *İstanbul Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, (47).
- Kizilaslan, N., Gürler, A. Z., & Kizilaslan, H. (2007). An analytical approach to sustainable development in Turkey. *Sustainable Development*, 15(4), 254-266.

- Maji, PK, Biswas, R, and Roy, AR (2001). Fuzzy soft sets. *Journal of Fuzzy Mathematics*, 9, 589-602.
- Maji, PK, Biswas, R, and Roy, AR (2003). Soft set theory. *Computers & Mathematics with Applications*, 45, 555-562. [https://doi.org/10.1016/S0898-1221\(03\)00016-6](https://doi.org/10.1016/S0898-1221(03)00016-6).
- Molodtsov, D (1999). Soft set theory—first results. *Computers & Mathematics with Applications*, 37, 19-31. [https://doi.org/10.1016/S0898-1221\(99\)00056-5](https://doi.org/10.1016/S0898-1221(99)00056-5).
- Okumuş, N. (2025). Sürdürülebilir Kalkınma Kapsamında Türkiye'de Çevre Ekonomisine Yönelik Yapılan Harcamaların Değerlendirilmesine Yönelik Yeni Bir Yaklaşım. *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(1), 242-251.
- Öztürk, T., & Durak, İ. N. (2024). EU Environmental Policies in the Context of Green Theory and Türkiye's Adaptation Process. *Alanya Akademik Bakış*, 8(1), 224-226.
- Poudel, R., Hirai, Y., Asari, M., & Sakai, S. (2019). Field study of disaster waste management and disposal status of debris after Gorkha earthquake in Kathmandu, Nepal. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21(4), 753–765. <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00835-3>
- Puri, A., Elkhartoutly, M., & Ameer Ali, N. (2024). Identifying major challenges in managing post-disaster reconstruction projects: A critical analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 107, 104491. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104491>
- Roy, A.R, and Maji, P.K. (2007). A fuzzy soft set theoretic approach to decision making problems. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 203, 412-418. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2006.04.008>.
- Sahin, M., Uluçay, V., & Yılmaz, F. S. (2019). Chapter twelve improved hybrid vector similarity measures and their applications on trapezoidal fuzzy multi numbers. *Neutrosophic triplet structures*, 158.
- Tahtalıoğlu, H., & Kulac, O. (2019). The Role of Education in Realizing Sustainable Development in Turkey. *Agathos: An International Review of the Humanities & Social Sciences*, 10(1).
- Tabata, T., Onishi, A., Saeki, T., & Tsai, P. (2019). Earthquake disaster waste management reviews: Prediction, treatment, recycling, and prevention. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 36, 101119. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101119>
- Xiao, J., Xie, H., & Zhang, C. (2012). Investigation on building waste and reclaim in Wenchuan earthquake disaster area. *Resources, Conservation and Recycling*, 61, 109–117. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.01.012>
- Uluçay, V., & Şahin, M. (2024). Intuitionistic fuzzy soft expert graphs with application. *Uncertainty discourse and applications*, 1(1), 1-10.
- Uluçay, V., & Okumuş, N. (2024). A new generalized similarity measure based on intuitionistic trapezoidal fuzzy multi-numbers: Turkey's sustainable tourism economy strategy application. *Journal of Fuzzy Extension and Applications*, 5(2), 238-250.
- Uluçay, V., & Şahin, N. M. (2023). Some harmonic aggregation operators with trapezoidal fuzzy multi-numbers: Application of Law. *2023 Neutrosophic SuperHyperAlgebra And New Types of Topologies*, 202.
- Uluçay, V. (2020). A new similarity function of trapezoidal fuzzy multi-numbers based on multi-criteria decision making. *J Inst Sci Technol*, 10(2), 1233-1246.
- Uluçay, V., Sahin, M., Olgun, N., & Kılıçman, A. (2016). On soft expert metric spaces. *Malaysian Journal of Mathematical Sciences*, 10(2), 221-231.
- Yang, X., Lin, T.Y, Yang, J, Li, Y, and Yu, D. (2009). Combination of interval-valued fuzzy set and soft set. *Computers & Mathematics with Applications*, 58, 521-527. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2009.04.019>

- Zadeh, LA (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zadeh, LA (1975). The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning I. *Information Sciences*, 8, 199-249.
- Zhang, F., Cao, C., Li, C., Liu, Y., & Huisin, D. (2019). A systematic review of recent developments in disaster waste management. *Journal of Cleaner Production*, 235, 822–840. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.229>

Research Article**Deprem Sonrası Atık Yönetimi Politikalarının Ekonomik Boyutları: Sürdürülebilirlik Temelli Karar Verme Yaklaşımlarıyla Modelleme ve Uygulama Önerileri**

Economic Dimensions of Post-Earthquake Waste Management Policies: Modeling and Implementation Suggestions with Sustainability-Based Decision-Making Approaches

Nuh OKUMUŞ

Dr., Gaziantep Üniversitesi, İktisadi İdari Bilimler Fakültesi

okumus27@gmail.com<https://orcid.org/0000-0002-6111-8083>**Extended Abstract**

Waste management is of great importance today as a strategic policy area in environmental sustainability, combating climate change and post-disaster recovery processes. Turkey, which is among the developing countries, is becoming increasingly sensitive to environmental pressures due to its economic growth rate and geographical location and is moving towards developing integrated and sustainable solutions in waste management. In this direction, the Zero Waste Project, launched by the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change in 2017, represents a significant paradigm shift in the light of resource efficiency, recycling and circular economy principles (Bilgili et al., 2023). On the other hand, in high-risk disaster areas such as earthquake zones where Turkey is located, post-disaster waste, especially rubble piles, are not only physical debris but also pose serious environmental and economic risks (Bektaş & Jingjie, 2025). The recent comparison of the 2023 Turkey-Syria and 2008 Sichuan earthquakes reveals the need for comprehensive analysis of strategies used in disaster waste management through sustainability indicators such as carbon footprint, eco-cost, and recycling rates. In the literature, important issues such as the selection of temporary storage areas in post-disaster waste management (Demir & Dinçer, 2023), the evaluation of waste processing technologies in terms of sustainability (Amato et al., 2019), and the flexibility of supply chain strategies (Habib et al., 2019) come to the fore. However, the vast majority of existing studies generally focus on a single disaster event, and systematic comparisons or holistic artificial intelligence-based decision support models are not developed (Zhang et al., 2019; Tabata et al., 2019). In line with these deficiencies, the aim of this study is to compare regular municipal waste management practices and disaster debris management strategies in Turkey with artificial intelligence-supported modeling methods to reveal a sustainable and effective waste management system. The decision support analytics that will be developed by integrating multi-criteria data such as zero waste policies, circular economy targets, disaster debris composition, carbon emissions and cost effectiveness will provide a sustainable waste management framework that will be developed specifically for Turkey but can also be generalized on a global scale. Current research on disaster waste management focuses on economic, environmental and social sustainability dimensions (Zhang, Cao, Li, Liu, & Huisin, 2019). These studies include the development of decision support systems, optimization of centralized and decentralized approaches in supply chain models (Habib et al., 2019), determination of suitable temporary storage areas (Demir & Dinçer, 2023) and examination of the most environmentally appropriate waste processing technologies (Amato et al., 2019). However, since the majority of research in this area focuses on single disaster events (Poudel, Hirai, Asari, & Sakai, 2019; Xiao, Xie, & Zhang, 2012), there is a noticeable lack of comprehensive and holistic studies comparing best practices, common challenges, and regional differences across different regions or countries (Puri, Elkhartoutly, & Ameer Ali, 2024; Tabata, Onishi, Saeki, & Tsai, 2019).

The main purpose of this study is to evaluate the role of sustainable practices in disaster waste management by comparatively examining the 2008 Sichuan and 2023 Turkey-Syria earthquakes. In this context, it is aimed to determine the most appropriate management model that will contribute to the reduction of social and ecological impacts through recycling-oriented strategies, resilient construction policies and national disaster waste management standards. In line with this goal, alternative decision-making processes are also discussed and evaluated. In the continuation of the study, preliminary information on the subject is presented in Section 2; and in Section 3, the EQBEK method and its algorithm are introduced in detail. In Section 4, how the method is applied and how it guides the decision-making process is shown through a numerical example. Finally, in Section 5, a general evaluation of the findings is made and recommendations are given.